

T S2/5/1

2/5/1

DIALOG(R) File 351:Derwent WPI

(c) 2005 Thomson Derwent. All rts. reserv.

012209810 **Image available**

WPI Acc No: 1999-015916/199902

XRPX Acc No: N99-012679

Laser resonator with photo-chip breaker band structure e.g. for laser light source - has two mirrors with multilayer insulating films, formed on either surfaces of semiconductor layer

Patent Assignee: CANON KK (CANO)

Number of Countries: 001 Number of Patents: 001

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 10284806	A	19981023	JP 97108271	A	19970410	199902 B

Priority Applications (No Type Date): JP 97108271 A 19970410

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan Pg	Main IPC	Filing Notes
JP 10284806	A	7	H01S-003/18	

Abstract (Basic): JP 10284806 A

The laser resonator comprises a semiconductor layer (11) which consists of a barrier film with several holes (21) arranged in matrix form on upper surface (22) of the substrate, thereby forming optical propagation bandgap. Thus, the barrier film consists of two areas with different refractive indices. A pair of mirrors (12,13) with multilayer interference film are formed on either surfaces of the semiconductor layer.

USE - For optical sensor, display devices, optical information processor.

ADVANTAGE - Controls spontaneous light emission thereby reducing power consumption. Reduces heat generation.

Dwg.1/6

Title Terms: LASER; RESONANCE; PHOTO; CHIP; BREAKER; BAND; STRUCTURE; LASER ; LIGHT; SOURCE; TWO; MIRROR; MULTILAYER; INSULATE; FILM; FORMING; SURFACE; SEMICONDUCTOR; LAYER

Derwent Class: U12; V08

International Patent Class (Main): H01S-003/18

International Patent Class (Additional): H01S-003/085

File Segment: EPI

?

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-284806

(43) 公開日 平成10年(1998)10月23日

(51) Int.Cl.⁶

H 0 1 S 3/18

3/085

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

3/08

S

審査請求 未請求 請求項の数17 F D (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平9-108271

(22) 出願日 平成9年(1997)4月10日

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 坂田 肇

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ

ノン株式会社内

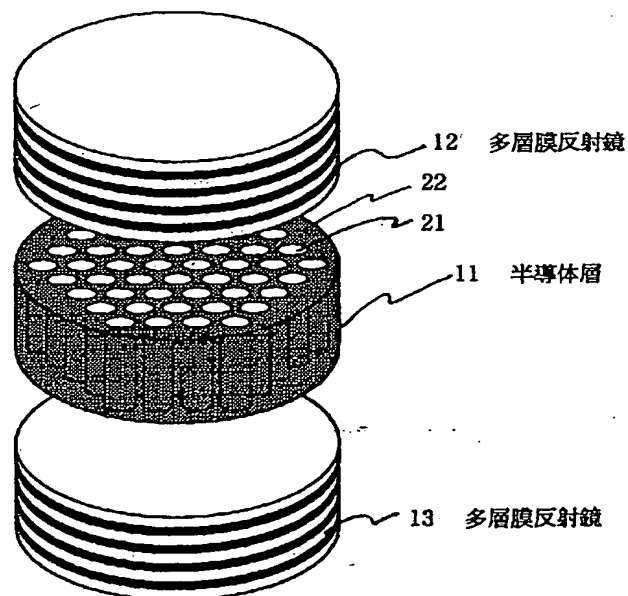
(74) 代理人 弁理士 加藤 一男

(54) 【発明の名称】 フォトニックバンド構造を有する垂直共振器レーザ

(57) 【要約】

【課題】 活性層の垂直方向に加えて、活性層面内全方向にも自然放出光を制御する構造を備えて低閾値で低消費電力の動作を可能とするフォトニックバンド構造を有する垂直共振器半導体レーザである。

【解決手段】 フォトニックバンド構造を有する垂直共振器レーザは、化合物半導体から形成されてなる垂直共振器レーザである。活性層を含む半導体層11に二次元屈折率周期構造21、22を備えることで、活性層を含む半導体層11面内には発光波長に対して光学的伝播禁止帯が形成されている。活性層を含む半導体層11を挟んで一対の多層干渉膜12、13からなる反射鏡が形成されていて、光共振器が活性層の垂直方向に形成されている。



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】化合物半導体から形成されてなる垂直共振器レーザであって、活性層を含む半導体層に二次元屈折率周期構造を備えていることで、活性層を含む半導体層面内には発光波長に対して光学的伝播禁止帯（フォトリックバンドギャップ）が形成されていて、且つ、該活性層を含む半導体層を挟んで一対の多層干渉膜からなる反射鏡が向かい合わさって形成されていることで、光共振器が該活性層の垂直方向に形成されていることを特徴とするフォトリックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項2】前記多層干渉膜からなる反射鏡は高屈折率層および低屈折率層がそれぞれ発光波長の4分の1の実効的厚さで一組となって繰り返して成膜されてなる分布ブラッグ反射鏡であることを特徴とする請求項1記載のフォトリックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項3】前記反射鏡は、III-V化合物半導体からなる多層干渉膜で構成されていることを特徴とする請求項1または2記載のフォトリックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項4】前記反射鏡は、 SiN_x 、 AlN 、 Al_2O_3 、 MgO 、 SiO_2 のいずれかの組み合わせで構成される多層干渉膜からなることを特徴とする請求項1または2記載のフォトリックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項5】前記光共振器を構成する一対の反射鏡の向かい合う実効的間隔は、発光波長と同等程度の長さであることを特徴とする請求項1乃至4の何れかに記載のフォトリックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項6】前記活性層の発光領域に電流を注入する手段を有することを特徴とする請求項1乃至5の何れかに記載のフォトリックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項7】前記電流注入手段による注入励起電流を発光領域に集中させるため、電流狭窄構造が、エッチング、高抵抗ドーピング、もしくは酸化により、円筒状、円錐状、もしくは糸巻き状に形成されていることを特徴とする請求項6記載のフォトリックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項8】前記活性層がB、Al、Ga、InなどのIII族元素およびN、P、As、SbなどのV族元素からなるIII-V化合物半導体で構成されることを特徴とする請求項1乃至7の何れかに記載のフォトリックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項9】前記二次元屈折率周期構造は、前記活性層を含む半導体層が六方格子状に配置された二次元ロッド列をなしていることで形成されていることを特徴とする請求項1乃至8の何れかに記載のフォトリックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項10】前記二次元屈折率周期構造は、前記活性

層を含む半導体層内に六方格子状に配置された二次元ホール列が形成されることで形成されていることを特徴とする請求項1乃至8の何れかに記載のフォトリックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項11】前記二次元屈折率周期構造は、前記活性層を含む半導体層が正方格子状に配置された二次元ロッド列をなしていることで形成されていることを特徴とする請求項1乃至8の何れかに記載のフォトリックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項12】前記二次元屈折率周期構造は、前記活性層を含む半導体層内に正方格子状に配置された二次元ホール列が形成されることで形成されていることを特徴とする請求項1乃至8の何れかに記載のフォトリックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項13】前記二次元ロッド列は、空気、窒素、高分子材料、もしくは誘電体によって周囲が充填されていることを特徴とする請求項9または11記載のフォトリックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項14】前記二次元ホール列は、空気、窒素、高分子材料、もしくは誘電体によって充填されていることを特徴とする請求項10または12記載のフォトリックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項15】前記充填材を構成する高分子材料はポリイミドであることを特徴とする請求項13または14記載のフォトリックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項16】前記充填材を構成する誘電体は SiN_x 、 AlN 、 Al_2O_3 、 MgO 、 SiO_2 のいずれかであることを特徴とする請求項13または14記載のフォトリックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【請求項17】前記六方格子状もしくは正方格子状に配置された各ロッドもしくは各ホールの隣り合う間隔は、発光波長の2分の1の実効的長さ程度で設計されていることを特徴とする請求項9乃至16の何れかに記載のフォトリックバンド構造を有する垂直共振器レーザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、所定波長の光の発生や伝播が二次元ないし三次元の空間において制御される構造、即ち光の波長程度の周期の屈折率周期構造であるフォトリック結晶のいわゆるフォトリックバンド構造を利用して、光放射特性を制御したレーザ光源等に関するものである。

【0002】

【発明の属する技術分野】従来、放射波長を制御し、且つ発振閾値を低減させる構造として、例えば、図6に示すような一対の多層膜反射鏡61、62を活性層63を挟んで基板64垂直方向に設けた垂直共振器レーザが知られている。その中で、2つの多層膜反射鏡61、62の間隔（実効的共振器長）を放射波長程度としたレーザ

構造は自然放出光の制御まで可能ないわゆる微小共振器レーザの一種としても知られている。このとき、活性層63から放射される光は、多層膜反射鏡61、62間で共振されるモードと結合して、基板64の上下方向に放出される。

【0003】上記した従来の垂直共振器レーザでは、活性層63からの自然放出光のうち活性層面内方向の光に対しては光共振器効果もなく、自然放出光の大半が損失となる。そのため、Japanese Journal of Applied Physics 30, L602(1991)などでは発光領域の周囲を金で被覆することで、活性層面内水平方向に放出した光を発光領域に反射して戻す構造が工夫されていた。また、特開平8-213711号公報では、フォトニック構造を有するマイクロキャビティー光源において一對の共振鏡に挟まれた活性層を同心円状として、活性層面内方向の発光制御を行おうとする構成が開示されている。

【0004】

【発明が解決しようとしている課題】しかしながら、発光領域の周囲を金膜で覆う水平方向の光閉じ込めは、レーザ放射波長を制御した垂直方向への光閉じ込めと比較すると、自然放出光の制御までは不可能であり、発光領域壁面でのエネルギー損失も無視できない。これは、発光領域の直径が通常 $10\mu\text{m}$ 程度と放射波長に比べて大きいこと、一度放出した光の再利用しかできないこと、円筒状あるいは円錐状の発光領域側面は滑らかでなく、金属反射をもってしても散乱による損失が避けられないこと、などによる。

【0005】また、特開平8-213711号公報の同心円状活性層による放射光制御は、各同心円の法線方向にしか有効でなく、完全な面内自然放出光制御は困難である。

【0006】そのため、従来の構造では、活性層内部のエネルギーは垂直方向の光共振器から横方向へ漏れ出すため、すべての放出光を基板上方（あるいは下方）から取り出せず、光の損失は避けられなかった。このことが、光源の発振閾値の上昇、消費電力の増大を招いていた。

【0007】従って、本発明の目的は、活性層の垂直方向に加えて、活性層面内全方向にも自然放出光を制御する構造を備えることによって、発光の方向が制限ないし制御され、且つ低閾値で低消費電力の動作を可能とするフォトニックバンド構造を有する垂直共振器半導体レーザを提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明のフォトニックバンド構造を有する垂直共振器レーザは、化合物半導体から形成されてなる垂直共振器レーザであって、活性層を含む半導体層に二次元屈折率周期構造を備えていることで、活性層を含む半導体層面内には発光波長に対して光学的伝播禁止帯（フォトニックバン

ドギャップ）が形成されていて、且つ、該活性層を含む半導体層を挟んで一對の多層干渉膜からなる反射鏡（これは、高屈折率層および低屈折率層がそれぞれ発光波長の4分の1の実効的厚さで一組となって繰り返し成膜されてなる分布ブラッグ反射鏡であったり、III-V化合物半導体からなる多層干渉膜で構成されていたり、 SiN_x 、 AlN 、 Al_2O_3 、 MgO 、 SiO_2 のいずれかの組み合わせで構成される多層干渉膜であったりする）が向かい合わさって形成されていることで、光共振器が該活性層の垂直方向に形成されていることを特徴とする。

【0009】より具体的には以下の様にもできる。前記二次元屈折率周期構造は、前記活性層を含む半導体層が六方格子状、正方格子状などに配置された二次元ロッド列をなしていたり、前記活性層を含む半導体層内に六方格子状、正方格子状などに配置された二次元ホール列が形成されることで形成されている。前記二次元ロッド列は、空気、窒素、高分子材料（ポリイミドなど）、誘電体（ SiN_x 、 AlN 、 Al_2O_3 、 MgO 、 SiO_2 など）等によって周囲が充填されていたり、前記二次元ホール列は、空気、窒素、高分子材料（ポリイミドなど）、誘電体（ SiN_x 、 AlN 、 Al_2O_3 、 MgO 、 SiO_2 など）等によって充填されていたりする。

【0010】また、前記光共振器を構成する一對の反射鏡の向かい合う実効的間隔は、発光波長と同等程度の長さとする。前記活性層の発光領域に電流を注入する電極などの手段を有し、この電流注入手段による注入励起電流を発光領域に集中させるため、電流狭窄構造が、エッチング、高抵抗ドーピング、酸化（酸化により高抵抗になると共に屈折率が低下する）などにより、円筒状、円錐状、糸巻き状等に形成されている。

【0011】また、前記六方格子状もしくは正方格子状に配置された各ロッドもしくは各ホールの隣り合う間隔は、発光波長の2分の1の実効的長さ程度で設計されている。前記活性層はB、Al、Ga、InなどのIII族元素およびN、P、As、SbなどのV族元素からなるIII-V化合物半導体で構成される。

【0012】本発明によれば、誘導放出光を得る基板垂直方向は、多層干渉膜からなる一對の反射鏡で光共振器が構成される。このとき、一對の反射鏡で構成されるファブリペロエタロンの透過波長において発振が生じる。一方、活性層を含む面内には、二次元の屈折率ないし誘電率の適当な周期構造を形成し、活性層の発光波長帯に合わせて伝播が阻止されるいわゆるフォトニックバンドギャップ（光学的伝播禁止帯であり、波長のオーダーで誘電率を周期的に変動させるとき、電磁波は或る周波数領域で固有モードを持たず、この周波数領域をフォトニックバンドギャップと呼ぶ）を形成している。そのため、面内方向に対しては、自然放出光も制限されて、エネルギーの横方向への漏洩を抑圧できる。その結果、光

共振器内部の光に対して、面内方向は二次元フォトリックバンド構造で、垂直方向は多層膜反射鏡のいわば一次元のフォトリックバンド構造で、発光を制限ないし制御することにより、高い効率によるレーザ光放射を実現できる。

【0013】

【発明の実施の形態】本発明の実施形態を説明する前に、本発明の原理の技術背景を説明する。近年、誘電率の三次元的周期構造を人工的に創生して、あたかも結晶中の電子の振る舞いと同様に、電磁波の振る舞いを制御する材料構造が注目されている。上述した様に、このような人工構造はフォトリック結晶と呼ばれ、この構造に起因する光波長に相当する電磁波バンドをフォトリックバンドと称している。フォトリックバンド構造が注目される理由は、従来不可能であった光子の完全な空間的制御が可能になるところにある。たとえば、レーザへの応用にあたっては、自然放出光の制御まで可能なため、閾値の極めて小さい（理論的には閾値の存在しなくなる）極低閾値レーザが可能となる。レーザ光の出力や波長は、温度変化に対して変動の小さなものとなる。また、全空間に対して光の放射を制御できるので電気-光エネルギー交換効率に極めて優れる、言い換えると、低消費電力のレーザが可能となる。さらに、空間的な光波の結合、切換え、分岐、合流を行う光カップラ、光スイッチなどへの応用にも適する。加えて、光波長制御を本質的にともなうため、波長選択性を有するフィルタ、分波器、波長ルータ（add-drop filter）などの性能向上、機能拡張にも効果が大きい。また、光子密度を意図的に高くできるため、非線形効果を強調した素子の開発も期待できる。

【0014】ただし、三次元フォトリック結晶として光波長に合わせた誘電率変化をたとえば面心立方格子状などに形成するとすると、現在の微細加工技術、選択成長技術などをもってしても困難である。それと比較して、二次元のフォトリック結晶、すなわち直交する3方向のうち1方向へは誘電率が異なる構造は、二次元平面の微細加工や選択成長で実現できる。本発明はこのことに着目したものである。

【0015】本発明によるフォトリックバンド構造を有する垂直共振器レーザの実施形態の構成、動作原理について、図1および図2を用いて説明する。

【0016】二次元結晶構造では、5種の異なる型のブラベ格子が存在するが、面内のどの方向へも共通にフォトリックバンドギャップを開けることが可能な構造としては、六方格子もしくは正方格子が適する。たとえば、六方格子においては、図2に示すように、菱形を基本とした各格子点に、ロッド（中実のもの）もしくはホール（中空のもの）21を作り付けることで誘電率変化を与える。光波長 λ でのバンドギャップ構造を得るため、格子点（ロッドもしくはホールの中心点）の間隔 a は以下

の（1）式で表される。ここで、誘電率は屈折率で置き換え、 n_{eff} は平均の屈折率を示している。

$$a = \lambda / (2 n_{eff}) \quad (1)$$

ここで、ロッドもしくはホール21の断面形状を円形とすると、平均の屈折率 n_{eff} は、円形領域の屈折率 n_c とその周囲を占めている領域22の屈折率 n_d とで（2）式のように表される。ここで、パラメータ f は円形領域の占有率であり、 r を円形領域の半径とすると、（3）式のように表される。

$$n_{eff} = n_c f + n_d (1 - f) \quad (2)$$

$$f = (2 \pi r^2) / (\sqrt{3} a^2) \quad (3)$$

この六方格子構造を用いて、二次元フォトリック結晶のブリルアンゾーンのあらゆる方向にわたって光波のモードが生じないエネルギー領域、すなわち、フォトリックバンドギャップを形成する。上記仮定の下では、円形領域21の占有率、および、円形領域21とその周囲領域22の屈折率差によってフォトリックバンドギャップは決定される。フォトリックバンド構造は等方的でないため、光波の偏光に依存するが、上記各パラメータの設定で各偏光に対して共通のフォトリックバンドギャップを形成可能である。

【0017】以上のような二次元構造によるフォトリックバンドギャップを活性層の光学的利得帯域に合致させて創生することで、活性層面内方向への自然放出は抑制される。この状態で、図1に示すように、活性層を含む半導体層11に垂直な方向への自然放出を一对の多層膜反射鏡12、13などで制御し、任意の波長の光波のみを誘導放出すれば、完全に放出制御したレーザが実現できる。多層膜反射鏡12、13は、屈折率の異なる一組の膜を積層したもので、周期性の強いものは、分布ブラッグ反射鏡（distributed Bragg reflector: DBR）とも呼ばれる。この周期的層構成は、言ってみれば、一次元のフォトリックバンド構造を形成している。従って、本発明による二次元フォトリックバンド構造と多層膜反射鏡の組み合わせによる構造は、擬似的な三次元フォトリックバンド構造をなしていると言える。

【0018】多層膜反射鏡12、13の各層厚 d_i は、波長 λ 、屈折率 n_i に対して、以下のように表される。但し、下付き i は高屈折率膜（H）もしくは低屈折率膜（L）を示している。

$$d_i = \lambda / (4 n_i) \quad (4)$$

一对の多層膜反射鏡12、13は、二次元フォトリックバンド構造を有する活性層を含む半導体層11を間において向かい合っていて、活性層を含む半導体層11の間隙の位相差に応じて透過波長が決定され、そのほかの波長においては、光の放出が許されない。従って、基板垂直方向の透過波長に、活性層の全エネルギーが集中して誘導放出が実現される。

【0019】第1実施例

図3を用いて製造法を説明しながら第1実施例の構造を

説明する。まず、本発明による第1の実施例のレーザは、InP基板上に、200nm厚のInGaAsエッチングストップ層、130nm厚のInPクラッド層31、6nm厚のInGaAsP（エネルギーバンドギャップ波長 $\lambda_g=1.4\mu\text{m}$ ）井戸と10nm厚のInGaAsP（ $\lambda_g=1.15\mu\text{m}$ ）障壁の7ペアからなる量子井戸活性層32、130nm厚のInPクラッド層33を成長する。

【0020】次に、クラッド層33表面にSiO₂を成膜した後、フォトレジストを塗布し、図2に示すような半径130nmの円形パターンを間隔325nmの六方格子状に形成するための電子ビーム露光を行う。現像後、形成されたフォトレジストマスクをSiO₂膜に反応性イオンエッチングで転写する。こうしてできたSiO₂マスクをもとに反応性イオンビームエッチングを用いて活性層32およびクラッド層31、33のホールエッチングを行う。二次元ホール列を形成後、SiO₂膜を除去する。このホールには、活性層の発光波長に応じて（即ち、この波長がフォトニックバンドギャップ内に来る様に）窒素、高分子材料、誘電体などを充填してもよい。

【0021】一方、別個に用意したガラス基板34上に200nm厚のAl₂O₃層、90nm厚のSi層のペア6組からなる多層膜反射鏡35を高周波スパッタリングで成膜する。

【0022】以上のようにして成膜を行ったInP基板とガラス基板34とを膜面を向かい合わせに圧着接合する。基板接合は、印加荷重100kg/cm²で160℃加熱の下、4時間の圧着を施して得られた。

【0023】InP基板裏面を研磨してInP基板を100μm程度の厚さに薄くした後、選択エッチングにより、InP基板、つづいてInGaAsエッチングストップ層までエッチングを行い、InPクラッド層31を露出させる。露出したInPクラッド層31上に、先程のガラス基板上へ施したと同様の多層膜反射鏡36を成膜する。

【0024】こうして作製した図3に示すようなレーザに対して、光励起を行なったところ、基板垂直方向へ波長1.3μmのレーザ発振が観測された。

【0025】第2実施例

図4によって第2実施例を説明する。本発明による第2の実施例のレーザは、n-GaAs基板41上に各層が $\lambda/4$ 厚のn-GaAs/AlAs 20.5ペア（最終層AlAs）からなる多層膜反射鏡42、100nm厚のn-Al_{0.4}Ga_{0.6}Asクラッド層43、アンドープの8nm厚のIn_{0.2}Ga_{0.8}As井戸層/10nm厚のGaAs障壁層の5層からなる歪み多重量子井戸活性層44、100nm厚のp-Al_{0.4}Ga_{0.6}Asクラッド層45を成長する。ついで、前記実施例と同様、二次元ホール列46を活性層44およびそれを挟んだクラッド

層43、45に形成する（図4に示す様に、クラッド層43の途中でホールは止まっている）。

【0026】上記と同様にして別個のアンドープのGaAs基板上に100nm厚のAlAsエッチングストップ層、50nm厚のp-GaAsキャップ層47、各層が $\lambda/4$ 厚のp-GaAs/AlAs 20.5ペアからなる多層膜反射鏡48、100nm厚のp-Al_{0.4}Ga_{0.6}Asクラッド層49を成長する。

【0027】以上のようにして成長を行ったアンドープのGaAs基板およびn-GaAs基板41を10%弗素水に数秒浸漬し、水洗、乾燥した後、成長面同士の結晶軸を描いて向かい合わせに圧着する。基板接合は、印加荷重100kg/cm²で160℃加熱の下、4時間の圧着を施して得られた。

【0028】次に、n-GaAs基板41裏面をSiO₂膜で保護した後、アンドープGaAs基板側を研磨して100μm程度の厚さに薄くする。硫酸+過酸化水素+水からなるエッチング液でアンドープGaAs基板をエッチング除去した後、AlAsエッチングストップ層を除去し、p-GaAsキャップ層47を露出させる。

【0029】次に、直径15μmの円筒状にp-GaAsキャップ層47からp-Al_{0.4}Ga_{0.6}Asクラッド層49の途中までを反応性イオンビームエッチングで除去する。SiN_x膜401を絶縁層として施し、ポリイミド402で埋めた後、セルフアラインメントの手法で円筒上部のp-GaAsキャップ層47を露出させて、電極403を成膜する。同様に、n-GaAs基板41裏面の一部にも電極404を成膜した後、オーミック接触を得るための熱拡散を行う。

【0030】こうして作製したレーザは、閾値1mA以下で発振し、平均出力光強度は数mW程度であった。発振光の近視野像を観察したところ、ほぼ上面電極の円形パターンと同様であり、周囲からの光の漏出は観測できなかった。

【0031】第3実施例

本発明の第3の実施例では、活性層を含む半導体層をロッド列に微細加工してその周囲をポリイミドで埋めている。ただし、円形領域（活性層を含む半導体層の部分）が高屈折率で、周囲（ポリイミドの部分）が低屈折率であるため、それに合わせて発光波長がフォトニックバンドギャップ内に来る様にロッド間隔および円形領域の半径は調整してある。また、半導体ロッド頭部が露出するように、酸素プラズマによる周囲のポリイミドのアッシングを軽く行う。その他の構成は、第2実施例と同様である。

【0032】第4実施例

図5を用いて、第4の実施例を説明する。n-InP基板51上に、各層が $\lambda/4$ 厚のn-InGaAs/InP 50.5ペアからなる多層膜反射鏡52、100nm厚のn-InPクラッド層53、アンドープの500nm

m厚のInGaAsP ($\lambda_g = 1.55 \mu\text{m}$) 活性層54、100nm厚のp-InPクラッド層55、100nm厚のp-InGaAsPキャップ層56を成長する。ついで、第2実施例と同様、二次元ホール列57をクラッド層55、活性層54およびクラッド層53の途中までに形成する。ホール57内は、第3実施例と同様、ポリイミドで充填し、キャップ層56を露出させる。

【0033】次に、円形にp-InGaAsPキャップ層56を除去し、そこへ、リフトオフ法で、238nm厚 Al_2O_3 層、107nm厚Si層のペア6組からなる多層膜反射鏡58を高周波スパッタリングで成膜する。つづいて、多層膜反射鏡58の形成されている円筒形部を取り囲むようにリング状に残して、活性層54までエッチングを行う。図5に示す様に、SiN_x絶縁層59を形成後、電極501をリング状のキャップ層56におおいかぶさるように形成する。同様に、n-InP基板51裏面にも電極502を成膜した後、オーミック接触を得るための熱拡散を行う。

【0034】こうして作製したレーザは、前記実施例と同様、低閾値で発振し、電流-光出力効率も高かった。

【0035】ところで、垂直共振器レーザでは、上記実施例で述べたエッチングの他、注入電流を集中させるため、高抵抗ドーピング、あるいは酸化などの手法により、同様に円筒状あるいは糸巻き状に電流狭窄構造を作製可能である。

【0036】また、以上の実施例では、波長1.0 μm ～1.5 μm 帯を中心にして説明したが、本発明の考え方は他の波長帯でも同様に適用可能である。たとえば、0.3 μm から0.5 μm 帯では、AlGaIn/GaNの活性層で、0.7 μm から0.9 μm 帯ではAlGaAs/GaAsの活性層でいずれも実現可能である。さらに、1.0 μm ～1.5 μm 帯では、GaInNAs/InPやGaInNAs/GaAsなどの活性層も使用可能である。

【0037】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、以下のような効果が得られる。すなわち、レーザ活性媒質からの発光を3次元空間で制御することで、発振閾値を低減し、且つ、高効率なレーザ動作を得ることができる。こ

ういった低電力動作レーザは、光通信、光インタコネクタなどに用いられる伝送用光送信器を構成する上で不可欠なものである。さらに、個々のレーザ素子の消費電力を低減できることは、そのことだけでなく、熱発生の問題も軽減され、2次元アレイレーザあるいは電子回路と一体となった光電子集積回路を構成する上で極めて効果が大きい。光アレイあるいは光集積素子は、光応用センシング、光情報処理、ディスプレイ、光記録などに用いられるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は本発明によるフォトニックバンド構造を有する垂直共振器半導体レーザを表す構造概略斜視図である（活性層を含む半導体層と多層膜反射鏡は分離して示してある）。

【図2】図2は本発明によるフォトニックバンド構造を有する垂直共振器半導体レーザの二次元フォトニック結晶の単位セルとブリルアンゾーンを表す図である。

【図3】図3は本発明の第1実施例を示すフォトニックバンド構造を有する垂直共振器半導体レーザを表す構造概略斜視図である。

【図4】図4は本発明の第2実施例を示すフォトニックバンド構造を有する垂直共振器半導体レーザを表す構造概略断面図である。

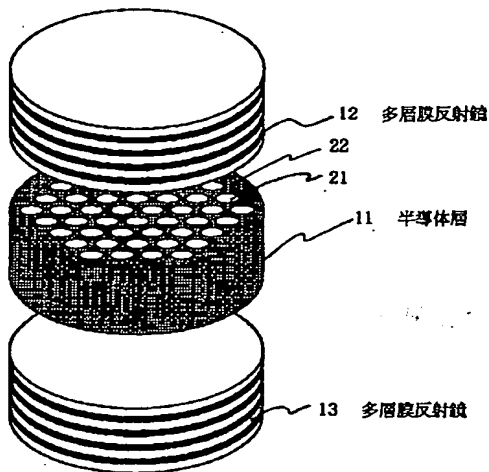
【図5】図5は本発明の第4実施例を示すフォトニックバンド構造を有する垂直共振器半導体レーザを表す構造概略断面図である。

【図6】図6は従来例を表す構造概略図である。

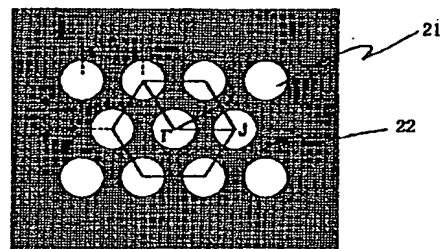
【符号の説明】

- 11 活性層を含む半導体層
- 12、13、35、36、42、48、52、58、61、62 多層膜反射鏡（多層干渉膜）
- 21、46、57 二次元ロッド列もしくはホール列
- 22 ロッド列もしくはホール列の周囲領域
- 34、41、51、64 基板
- 32、44、54、63 活性層
- 31、33、43、45、49、53、55 クラッド層
- 47、56 キャップ層
- 403、404、501、502 電極
- 401、402、59 絶縁層

【図1】



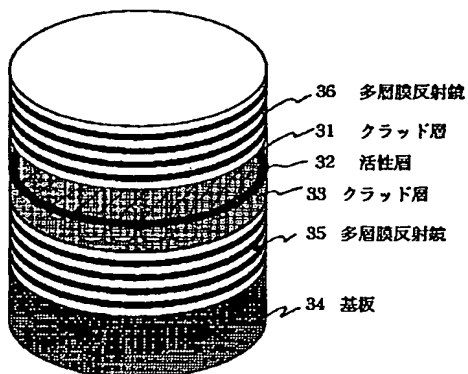
【図2】



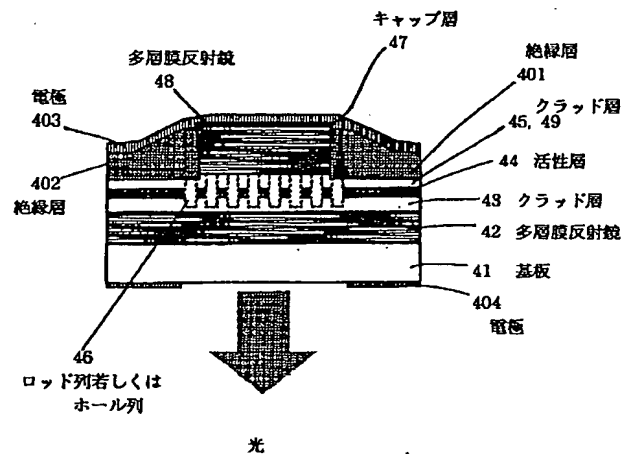
21 ロッド列若しくはホール列

22 ロット列若しくはホール列の周囲領域

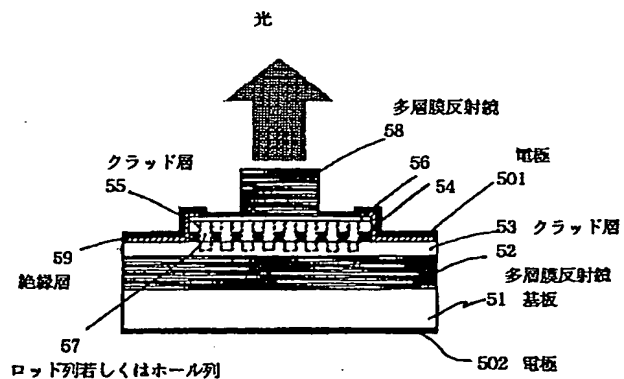
【図3】



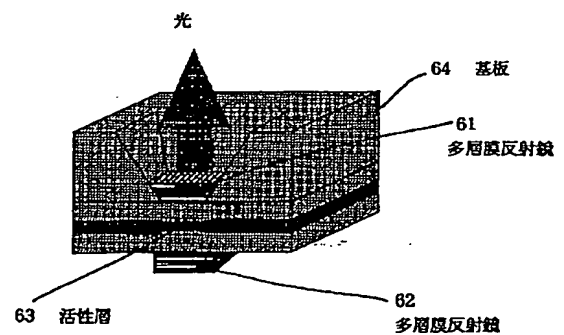
【図4】



【図5】



【図6】



BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)